

Praktyczne zasady właściwego rozpoznania i przygotowania podłoża gruntowego pod inwestycje budowlane

Szymon Węgliński¹



Practical principles of suitable subsoil identification and preparation for construction investments. Prz. Geol., 69: 971–977

A b s t r a c t. The subsoil is an inseparable part of building structures. It is important to properly recognize and correctly define parameters that are important to the design process. Errors and negligence, which could appear in the period of determining the soil and water conditions and the implementation of earthworks may have costly consequences at the stage of use of the facilities. In order to counteract their occurrence, in this paper a set of practical principles aimed at changing the awareness of construction process stakeholders (investor, designer, contractor) is presented. The examples that present the effect of negligence and errors in the field of geotechnical recognize are given.

Keywords: structural failures, geotechnical tests, subsoil preparation algorithm

Zagadnienia dotyczące posadowienia obiektów są kwestią istotną, gdyż są związane z bezpieczeństwem oraz zapewnieniem zdrowia i życia ich użytkowników. Obiekty budowlane są posadawiane na podłożu gruntowym i winny z nim właściwie współpracować. Wykonanie fundamentów rozpoczyna istnienie obiektu w terenie. Jednak wcześniejszy etap – projektowy – wymaga analizy wielu informacji. Brandl (2004) zauważa, że inżynierowie budownictwa pracują pod coraz większą presją czasu. Pojawia się dylemat, czy lepiej przedstawić nieprzemyślany projekt lub błędne obliczenia, czy też spóźnić się z oddaniem zadania w terminie i ponieść koszty kar umownych. Zaprezentowana postawa jest sprzeczna z etyką zawodową. Obecnie w myśl powszechnego powiedzenia „czas to pieniądz” oba pojęcia wiążą się wręcz nierozdzielnie. W branży budowlanej skutkiem presji czasu i niewłaściwych decyzji mogą stać się uszkodzenia, awarie lub katastrofy obiektów, zagrażające zdrowiu i życiu ludzkiemu.

Ważnym czynnikiem poprawnego projektowania oraz realizacji i eksploatacji obiektów budowlanych są badania podłoża gruntowego, gdyż grunt jest traktowany jako materiał konstrukcyjny, na który będą przekazywane obciążenia wynikające z właściwości obiektu. Zadaniem projektanta w geotechnice jest najczęściej ocena reakcji gruntu na powstające w nim zmiany stanu naprężenia wywołane budowlą, co oznacza konieczność określenia sztywności i wytrzymałości gruntu (Szajna, 2016). Aby poprawnie określić właściwości podłoża należy wykonać szereg badań, interpretacji uzyskanych wyników oraz złożonych obliczeń. Podłoże winno być rozpoznane rzetelnie, co w perspektywie ograniczeń czasowych i kosztowych staje się współczesnym wyzwaniem. Przy braku danych wejściowych do obliczeń projektowych – poprawnie wyznaczonych parametrów geotechnicznych – rośnie ryzyko błędnego wymiarowania konstrukcji, skutkujące awariami lub katastrofami budowlanymi, rozumiane jako geozagrożenia (wg Brandla, 2004). Sytuacji sprzyja nie zawsze uczciwa konkuren-

cja, presja czasu, ekonomia i brak wiedzy, rozumiany jako niedocenianie ryzyka i niebezpieczeństwa. Brandl stwierdza, że presja czasu i wspomniane geozagrożenia mają wpływ, na liczbę awarii geotechnicznych w ostatnich latach, która stale wzrasta, pomimo rozwoju technik badawczych i zaawansowanej edukacji na uczelniach wyższych. Ta negatywna tendencja nacisków zewnętrznych na geologów, geotechników i projektantów oraz konieczność posadawiania obiektów bez rozpoznania podłoża lub w ograniczonym zakresie powoduje, że dominują: polityka oszczędności, coraz krótsze okresy realizacji budów oraz konieczność posadawiania obiektów w złożonych i skomplikowanych warunkach gruntowych, gdyż tereny charakteryzujące się prostymi warunkami zostały już zagospodarowane.

ZASADY WŁAŚCIWEGO ROZPOZNANIA I PRZYGOTOWANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO

W celu zwiększenia świadomości geotechników oceniających warunki gruntowo-wodne podłoża oraz projektantów analizujących wspomniane wyniki, a także zapobieżenia generowania kosztów i negatywnych skutków oszczędności dla inwestora, konieczne jest przestrzeganie kilku niezbędnych zasad w zakresie rozpoznania i przygotowania podłoża gruntowego pod inwestycje budowlane. Poniżej omówiono kilka z nich, zaprezentowano również praktyczne przykłady ilustrujące skutki błędnych decyzji lub zaniedbań na różnych płaszczyznach, związanych z rolą geotechniki i wykonawstwa robót ziemnych.

Zasada 1. Analiza dokumentacji archiwalnej, map i informacji z innych źródeł – poza geologicznych – dostarcza wielu istotnych informacji o terenie i podłożu gruntowym. Na etapie projektowania ważne jest zdefiniowanie danych wejściowych, czyli informacji o przeznaczeniu obiektu i jego otoczeniu. Każdy obiekt budowlany jest zło-

¹ Zakład Geotechniki, Geologii Inżynierskiej i Geodezji, Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Poznańska; szymon.weglin-ski@put.poznan.pl,

kalizowany w ściśle określonym terenie, dodatkowo winien być trwale związany z podłożem gruntowym. Współczesny rozwój gospodarczy i urbanizacja miast sprawia, iż dostępność terenów atrakcyjnych dla budownictwa mieszkaniowego, handlowego i przemysłowego jest ograniczona ze względu na ich znacząca zabudowę. Wśród geotechników panuje przekonanie, iż obszary charakteryzujące się prostymi warunkami gruntowymi (wg Rozporządzenia, 2012) są przeważnie niedostępne. Często pojawiają się różne opinie i informacje, czy dany teren jest przydatny dla inwestycji pod względem opłacalności ekonomicznej, związanej z przygotowaniem podłoża gruntowego, czy też nie. Natomiast nie każdy inwestor uważa za celowe wykonanie wstępnego rozpoznania geotechnicznego, które będzie związane z kosztami – choć w odniesieniu do nakładów wynikających z ewentualnej wymiany lub wzmocnienia podłoża – relatywnie niskimi. Dlatego uzupełnieniem dla badań polowych powinny być studia archiwalnej dokumentacji, także tej niegeologicznej.

W obecnie obowiązujących normach Eurokod 7 (PN-EN 1997-1:2008, PN-EN 1997-2:2009) zaleca się, przed sporządzeniem programu badań, wykorzystanie we wstępnej analizie (jako materiały informacyjne) m.in. map, zdjęć fotograficznych itp. Ponadto nawet dla I kategorii geotechnicznej (Rozporządzenie, 2012) jest wymagana wizja terenowa. Zdjęcia lotnicze i satelitarne lub plany zagospodarowania i zabudowy obszarów miejskich, dostępne na portalach branżowych nawet z poziomu przeglądarki internetowej, mogą być ważnym źródłem danych podczas oceny przydatności terenu dla inwestycji. Istotne mogą być także wiadomości pozyskane od mieszkańców analizowanych obszarów.

Dodatkowo można wykorzystać informacje o warunkach gruntowo-wodnych na podstawie identyfikacji szaty roślinnej (fitosocjologia, wg Jeża, 1989). Autor zauważył, że rodzaj występujących roślin wskaźnikowych może świadczyć o typie gruntów występujących na danym terenie i głębokości wód gruntowych.

Zasada 2. Odpowiednia ilość badań geotechnicznych wykonanych przed i w trakcie realizacji inwestycji zapewni długoterminowe oszczędności. Określenie właściwej ilości badań geotechnicznych nie jest precyzyjne, można stwierdzić, iż niewielka liczba badań pozwoli na ograniczenie kosztów, jednak praktyka budowlana jednoznacznie wskazuje, że oszczędności mogą okazać się krótkoterminowe (Węgliński, 2021). Nie znaczy to, że badania należy wykonywać co metr. Należy mieć świadomość, iż rozpoznanie geotechniczne w terenie jest pomiarem punktowym, co prowadzi do konieczności wydzielenia charakterystycznych warstw i uśredniania parametrów. Grela i Traczyński (2014) podają przykład autostrad, gdzie otwory badawcze o średnicy 0,1 m są wykonywane w normowo ustalonych stanowiskach w rozstawie 100 m, co pozwala na analizę 0,2% podłoża! Przy założeniu nawierzchni jako obiektu powierzchniowego, dla długości 200 m i szerokości 20 m oraz wymaganych 3 stanowiskach, rozpoznanie wynosi 0,0006%!

Prawo budowlane (Ustawa, 1994) nie określa minimalnej ilości badań geotechnicznych dla inwestycji. Przed wprowadzeniem Eurokodów wymagania regulowała norma PN-B-02479:1998, gdzie ilość badań określano dla kategorii geotechnicznej, a głębokość odnoszono do pozio-

mu posadowienia. Obecnie obowiązuje norma PN-EN 1997-2:2009, definiująca zakres rozpoznania w zależności od rodzaju budowli, wymiarów fundamentów, typu budowli ziemnej. Zaleca się optymalizację liczby badań, poprzez zwiększanie (zagęszczanie siatki) stanowisk badawczych w przypadkach warunków złożonych i skomplikowanych oraz redukcję ich ilości w rejonie prostych warunków gruntowych. Szczegółowe wytyczne implementujące wymagania normy PN-EN 1997-2:2009 do warunków krajowych określono w *Zasadach dokumentowania geologiczno-inżynierskiego* (Majer i in., 2018) oraz *Wytycznych wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego* (Majer, 2018). Niedostateczna liczba badań może spowodować niepotrzebne przeprojektowanie konstrukcji (zawyżone: grubości warstw wzmocniających, geometria fundamentów, przekroje elementów konstrukcyjnych), co będzie generowało wysokie koszty realizacji, zaś nadmierna liczba badań na obszarach z warunkami powtarzalnymi i prostymi również zwiększy koszty inwestycji związane z obsługą geotechniczną.

Zasada 3. Przy definiowaniu parametrów geotechnicznych należy dobierać wiarygodne metody ich oceny, najlepiej wykorzystując wartości odczytywane w sposób bezpośredni. Grunty budowlane stanowiące podłoże nie są jednorodne. Z uwagi na brak możliwości całkowitej analizy podłoża gruntowego dla obiektu budowlanego, materiał gruntowy o zbliżonych cechach i właściwościach mechanicznych grupuje się, wydzielając warstwy i pakiety geotechniczne, dla których określa się parametry. Kluczową kwestią projektowania jest odpowiednie modelowanie właściwościami gruntów, m.in. założenie różnych sposobów wzmocnienia, dopasowanych do potrzeb konstrukcji, wynikających z przyjętych obciążeń. Nie każda wartość uzyskana podczas badań geotechnicznych jest wartością parametru. Ważna jest świadomość doboru właściwych metod ich oszacowania.

Określenie wartości parametrów jest procesem złożonym. W świetle zmian przepisów projektant powinien mieć na uwadze, iż zgodnie z obowiązującym prawem (Ustawa, 1994; Rozporządzenie, 2012; PN-EN 1997-1:2008) wartości parametrów gruntowych winny być wyprowadzone w sposób bezpośredni, z badań polowych oraz laboratoryjnych. W świadomości projektantów nadal funkcjonuje możliwość przyjmowania parametrów z nomogramów wycofanej w 2008 r. normy PN-B-03020:1981, jednak okres przejściowy jej stosowania minął definitywnie 1 stycznia 2021 r. (PKN, 2021; Węgliński, 2021). Skutkiem niewłaściwego ich oszacowania są błędy konstrukcyjne prowadzące do uszkodzeń, awarii czy katastrof budowlanych.

W celu właściwego określenia parametrów gruntowych ważne jest poprawne rozpoznanie rodzaju i stanu gruntu. Oczywistym jest, iż wartości parametrów podłoża nie wynikają wyłącznie z nazwy gruntu, ale jej poprawne określenie jest cenne, ponieważ umożliwia projektantowi wstępnie powiązać cechy i właściwości odpowiednich gruntów. W związku z nowymi i zaawansowanymi metodami badawczymi, w celu oceny uzyskanych z badań wyników, wykorzystuje się różne algorytmy obliczeniowe. Niektóre z nich są dostępne wraz z oprogramowaniem dołączonym do narzędzi pomiarowych, np. sond statycznych. Interpretacja wyników jest związana z rodzajem i stanem gruntu (Młynarek, Tschuschke, 2005; Wierzbicki, 2020). W prak-

tyce, w celu szybkiej realizacji zleceń, w trakcie oceny parametrów często korzysta się z automatycznego oprogramowania producentów, które niestety nie jest wolne od błędów.

Dodatkowo, w projektowaniu nawierzchni drogowych oraz konstrukcji posadzek w obiektach kubaturowych ważnym parametrem jest zagęszczenie, określone wskaźnikiem zagęszczenia I_s , oraz nośność, opisana modułami odkształcenia E . Podłoże o niskiej nośności nie zapewni bezpiecznego oparcia konstrukcji na gruncie i przeniesienia obciążeń, zaś niskie zagęszczenie spowoduje osiadanie konstrukcji i możliwość jej spękania. W modelowaniu podłoża ważne jest poprawne określenie parametrów, których interpretacja nie pozostawi wątpliwości projektantowi. W badaniach nośności i zagęszczenia wykorzystuje się metodę próbnego obciążenia z zastosowaniem płyt sztywnych (PN-S-02205:1998). W latach 90. ub.w. w Niemczech zaproponowano inną metodę – płyty dynamicznej LFG (niem. *Leichte Fallgewichtsgeraet*, TP BF-StB, 2012), bazującą na pomiarze odkształcenia przy obciążeniu dynamicznym. Obie metody pozwalają na określenie różnych parametrów. Aktualnie zgodnie z polskimi normami jest dopuszczalne stosowanie tylko płyty statycznej. Porównanie metod badawczych z wykorzystaniem płyt sztywnych przedstawiono w publikacjach autora (Węgliński, 2018; Pawłowski, Węgliński, 2020). Ważna jest poprawna interpretacja otrzymanych wyników – z badań statycznych używa się pierwotny (E_1) i wtórny (E_2) moduł odkształcenia oraz wskaźnik odkształcenia I_o , który można przeliczyć na wskaźnik zagęszczenia I_s . Z metody dynamicznej otrzymuje się wartość modułu dynamicznego E_{vd} oraz stosunek uzyskiwanego odkształcenia (przemieszczenia) do prędkości jego uzyskania s/v . Z metody dynamicznej nie można uzyskać bezpośrednio nośności (wtórnego modułu odkształcenia) ani żadnego parametru odnoszącego się do jakości zagęszczenia podłoża. Ponadto wyniki badań z zastosowaniem płyty dynamicznej należy odnosić do odpowiednich gruntów, klasyfikowanych wg niemieckiej normy DIN 18196:2011-05 (bazującej na klasyfikacji USCS – *Unified Soil Classification System*; ASTM, 2006).

Zasada 4. Do rozwiązywania złożonych problemów geotechnicznych warto wykorzystywać kilka uzupełniających się metod badawczych. W projektowaniu istotne są wartości parametrów opisujących podłoże gruntowe. Część z nich można oceniać bezpośrednio, a część pośrednio, np. korelując je z innymi wyprowadzonymi wartościami. W celu zmniejszenia ryzyka geotechnicznego i opracowania optymalnego zestawu parametrów opisujących rzeczywiste warunki gruntowo-wodne zaleca się korzystanie z wielu metod, które wzajemnie się uzupełniają i dają różne informacje o podłożu.

Podczas określania geometrii fundamentów priorytetem jest rozpoznanie rodzaju gruntów, ich stanu oraz modułów ścisłości. W przypadku posadzki przemysłowej ważnym aspektem jest nośność, określona modułami sprężystości i ścisłości. Zastosowanie nowych metod badawczych oraz łatwiejszy dostęp do urządzeń i technologii na terenie kraju (po wieloletnich opóźnieniach wynikających z minionego systemu polityczno-gospodarczego) pozwala na szerokie spojrzenie i wielowymiarową analizę podłoża gruntowego. Coraz częściej ocenia się kilka lub kilkanaście parametrów opisujących podłoże, aby opraco-

wać model zbliżony do stanu rzeczywistego. Mając na uwadze ograniczenia pewnych metod badawczych, można zamiennie stosować inne metody, jednak należy pamiętać, iż wartości parametrów są pozyskiwane (pomierzone) w odmienny sposób.

W projektowaniu konstrukcji nawierzchni drogowych najważniejszymi kwestiami jest nośność oraz wytrzymałość zmęczeniowa, określona np. ugięciem sprężystym (wg BN-70/8931-06, 1970). Ocena nośności jest łączną wypadkową całej konstrukcji, a więc podbudowy oraz warstw bitumicznych (w przypadku konstrukcji podatnych lub półsztywnych), zaś przy znacznych obciążeniach również stanu podłoża. Pomiar wyłącznie jednego parametru mógłby zafałszować rzeczywisty stan poszczególnych warstw, dlatego oprócz badania ugięć wykonuje się przewiert rdzeniową wiertnicą mechaniczną przez konstrukcję, a także gruntowe wiercenia w odkrywkach. Próbkę pobrane z wierceń rdzeniowych pozwalają na ocenę grubości i rodzaju poszczególnych warstw (dla związanych spoiwem hydraulicznym oznaczenie wytrzymałości na ściskanie w badaniach laboratoryjnych lub dla kruszyw – uziarnienia), odporności na wysadzinę (wskaźnik piaskowy kruszyw i gruntów, który w przypadku np. ogrzewanych budynków czy hal nie jest analizowany), określenie typu konstrukcji (podatna lub półsztywna) oraz grup nośności podłoża (Judycki, 2014; Szydło, 2014). Właściwa ocena wszystkich parametrów pozwala na optymalizację kosztów przebudowy poprzez dobór właściwego sposobu jej wzmocnienia, np. wyłącznie nakładką bitumiczną, częściowym frezowaniem i wykonaniem nowych warstw bitumicznych czy wymianą całej konstrukcji wraz z ulepszeniem podłoża.

Zasada 5. Poprawna ocena rodzaju i stanu podłoża gruntowego – szczególnie antropogenicznego – umożliwi optymalizację kosztów i zakresu robót ziemnych. Analiza kosztów inwestycji wymaga właściwego rozpoznania podłoża gruntowego, szczególnie w lokalizacjach, gdzie działka może być atrakcyjna cenowo z uwagi na słabe bądź nie pewne warunki gruntowe. W dobie zajętych „atrakcyjnych” terenów budowlanych nie należy lekceważyć antropogenicznego podłoża gruntowego, a szczególnie skupić się na właściwej ocenie jego przydatności. Zdaniem autora „wygra” ten, kto we właściwy sposób rozezna panujące warunki i będzie umiał wykorzystać materiały miejscowe, np. nasypy niebudowlane, złożone z żużli, odpadów i przekruszonego gruzu budowlanego, czy też rodzime grunty słabonośne, np. próchniczne. Wielu geotechników stwierdzając obecność nasypów niebudowlanych często zbudowanych z gruntów antropogenicznych, nie rozpoznaje ich składu oraz stanu, uważając, iż są materiałem niejednorodnym i należy je usunąć z podłoża. Nieznajomość definicji gruntów antropogenicznych skutkuje obawą projektantów o ich wykorzystanie. Jak podaje Drągowski (1979), są one gruntem powstałym w wyniku działalności gospodarczej i bytowania człowieka. W ich skład wchodzi odpady stałe oraz grunty naturalne przemieszczone i ponownie zdeponowane – zatem mogą okazać się przydatne.

W drogownictwie ważnym aspektem jest poprawna definicja grup nośności podłoża. Zgodnie z wymaganiami katalogów typowych konstrukcji nawierzchni przyjmuje się grupy nośności podłoża (Judycki, 2014; Szydło, 2014): od G1 (podłoże niewymagające wzmocnienia), G2–G4 (wy-

magające wzmocnienia w sposób typowy, np. korzystając z rozwiązań katalogowych) oraz podłoże niespełniające wymagań grupy nośności G4, które w sposób czytelny zostało zdefiniowane w katalogach. Do grup nośności podłoża G1 do G4 zaliczają się grunty kamieniste, gruboziarniste oraz drobnoziarniste niespoiste, a także spoiste, jednak w stanie nie gorszym niż twaroplastyczny ($I_L < 0,25$) wg PN-B-02480:1986 lub o konsystencji twaroplastycznej ($I_C > 0,75$) wg PN-EN ISO 14688-2:2018-05. Podanych warunków nie spełniają grunty spoiste w stanie gorszym niż podano oraz grunty organiczne (wymagają indywidualnego sposobu wzmocnienia). W praktyce jednak część geotechników klasyfikuje grunty słabonośne (organiczne i spoiste co najmniej plastyczne) do grupy G4.

WYBRANE PRZYKŁADY ILUSTRUJĄCE (NIE)STOSOWANIE ZASAD W PRAKTYCE

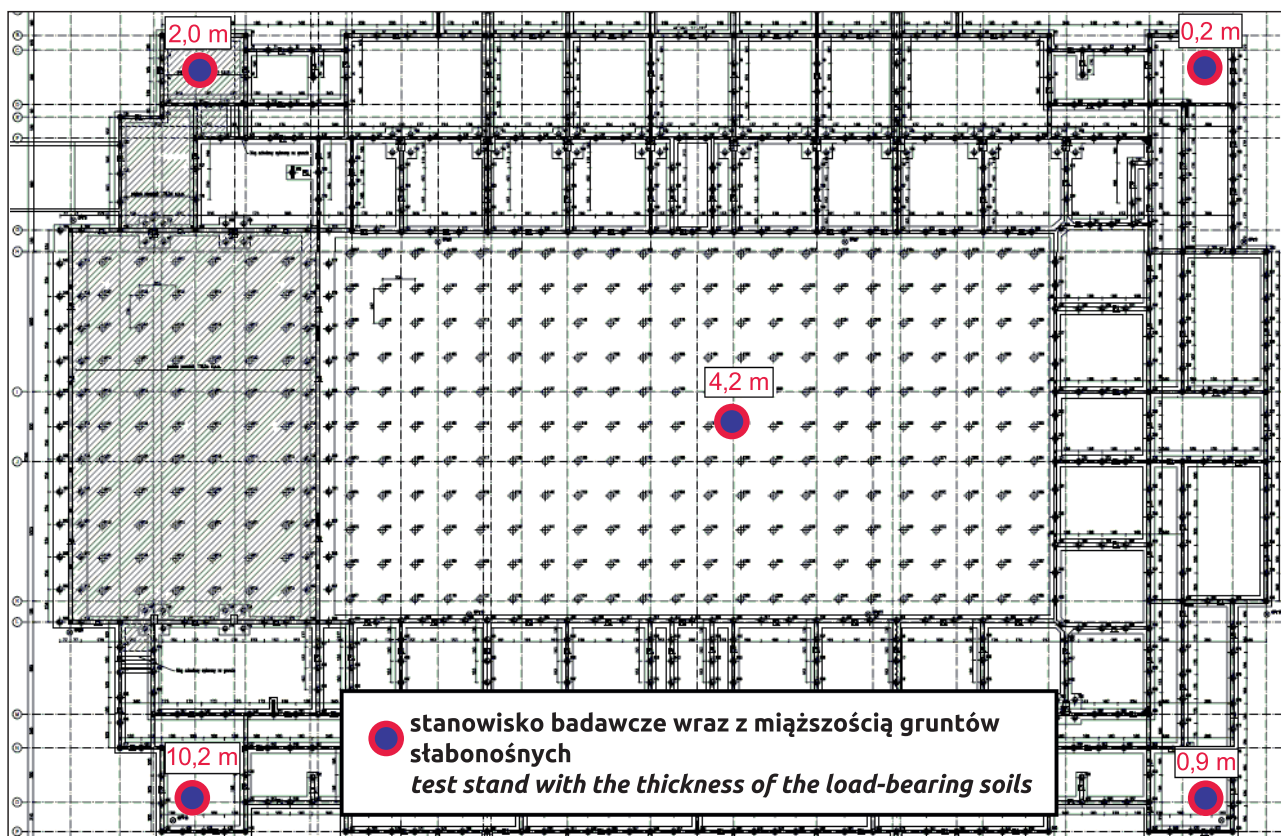
W **przykładzie nr 1** przedstawiono konieczność doboru właściwej ilości badań, a także odpowiedniego sposobu posadowienia w zależności od rodzaju i stanu podłoża gruntowego pod budowę obiektu halowego wraz z częścią socjalną, o powierzchni ok. 5 000 m². Inwestor pozostawił rozpoznanie podłoża gruntowego w gestii projektanta, który optymalizując koszty badań, wykonał „niezbędne minimum”, rozmieścił stanowiska badawcze na krawędziach oraz w środku projektowanego obiektu. W podłożu stwierdzono występowanie nasypów niebudowlanych oraz słabonośnych gruntów organicznych, o znacznej miąższości (ryc. 1). Zgodnie z Rozporządzeniem (2012) przyjęto II kategorię geotechniczną w złożonych warunkach grun-

towych. Nie wykonano uzupełniających badań pozwalających na dokładne zlokalizowanie obszarów z gruntami słabonośnymi. Zaprojektowano wzmocnienie podłoża z wykorzystaniem przemieszczeniowych pali wierconych o średnicy 0,4–0,5 m i długości średniej ok. 16,0 m.b. w rejonie fundamentów (ok. 1300 szt.) oraz warstwę geomateraca z kruszywa łamanego zbrojonego geokrąta o grubości 0,9 m.

W trakcie realizacji wykonawca zdecydował się na dodatkowe badania geotechniczne, które pozwoliły na wydzielenie obszaru odpowiadającemu ok. 25% powierzchni obiektu, gdzie stwierdzono występowanie gruntów słabonośnych i zastosowano zaawansowane metody wzmocnienia podłoża. Pozostałą część obiektu posadowiono bezpośrednio, stosując częściową wymianę gruntu, zaoszczędzając kilkaset tysięcy złotych.

Przykład nr 2 jest związany z rozpoznaniem parametrów podłoża gruntowego w trakcie realizacji, podczas nadzoru nad bieżącymi pracami ziemnymi. Dotyczy bezpośredniej oceny parametrów nośności i zagęszczenia podłoża gruntowego posadzki hali produkcyjnej. Projektant określił wymagania wobec wtórnego modułu odkształcenia E_2 oraz wskaźnika zagęszczenia I_s i wskaźnika odkształcenia I_o . Po zakończeniu prac wykonawca zrealizował badania przy zastosowaniu płyty dynamicznej, zaś na tych samych stanowiskach, na życzenie nadzoru inwestora, niezależne laboratorium wykonało pomiary z wykorzystaniem aparatu VSS. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Wykonawca korzystając z przeliczenia pomierzonych wartości E_{vd} na E_2 oraz I_s wg zagranicznych przepisów technicznych (ZTV E-StB 09, 2009), gwarantował spełnienie wymagań projektowych. Badania płytą statyczną wy-



Ryc. 1. Rzut projektowanej hali sportowej z częścią socjalną, wraz z zaznaczonymi stanowiskami badawczymi, dla których określono miąższość warstw słabonośnych

Fig. 1. The view of the sport event room and social rooms, which the thickness of the low-bearing soils was determined

Tab. 1. Wyniki pomiarów próbnego obciążenia z zastosowaniem płyt sztywnych w przykładzie 2
Table 1. The results of the load test with application of the rigid plates of example No. 2

Nr stanowiska No. of test stands	Badania polowe / Field tests					Ocena wyników / The analysis of tests results				
	badanie statyczne VSS static test of rigid plate			badanie dynamiczne LFG dynamic test of rigid plate		PN-S-02205:1998		ZTVE 2009		
	E_1	E_2	I_0	E_{vd}	s/v	I_0	I_s	E_{vd}	E_2	I_s
	[MPa]	[MPa]	[-]	[MPa]	[-]	[-]	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]
13	68,9	124,5	1,81	52,0	2,52	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
14	43,6	76,1	1,75	46,7	3,14	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
15	35,0	86,6	2,47	42,6	3,22	<2,5	<1,00	>40	>80	>1,00
16	41,1	108,4	2,64	49,1	2,78	*		>40	>80	>1,00
17	61,5	132,3	2,15	50,0	2,42	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
18	65,7	124,6	1,90	69,2	2,62	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
19	43,3	124,4	2,87	59,9	2,69	*		>40	>80	>1,00
20	57,8	111,3	1,93	53,1	2,72	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
21	79,0	139,9	1,77	39,8	3,10	<2,2	>1,00	>35	>70	>0,98
22	56,8	111,5	1,96	55,6	2,71	<2,2	>1,00	>40	>80	>1,00
23	22,1	50,6	2,29	21,6	4,80	<2,5	<1,00	**		**

* zagęszczenie zaniżone / low density.

** poza zakresem badania / out of range of test.

Tab. 2. Przeliczenie modułów dynamicznych na moduł odkształcenia oraz wskaźnik zagęszczenia (ZTV E-StB 09, 2009)
Table 2. The calculation of dynamic modules into deformation modulus and compaction index (ZTV E-StB 09, 2009)

	Oznaczenie gruntu wg DIN 181960 Type of soil		Moduł dynamiczny Dynamic modulus E_{vd} [MPa]	Wtórny moduł odkształcenia Secondary modulus of compressibility E_2 [MPa]	Wskaźnik zagęszczenia Degree of compaction I_s [-]
	symbol	d < 0,063 [mm] d < 2,0 [mm]			
ZTVE - StB 94	GE	żwir drobny / fine gravel <5% >40%	≥32	≥60	≥0,97
	SE	piasek drobny / fine sand <5% <40%	≥35	≥70	≥0,98
	SW	piasek gruby / coarse sand <5% <40%	≥40	≥80	≥1,00

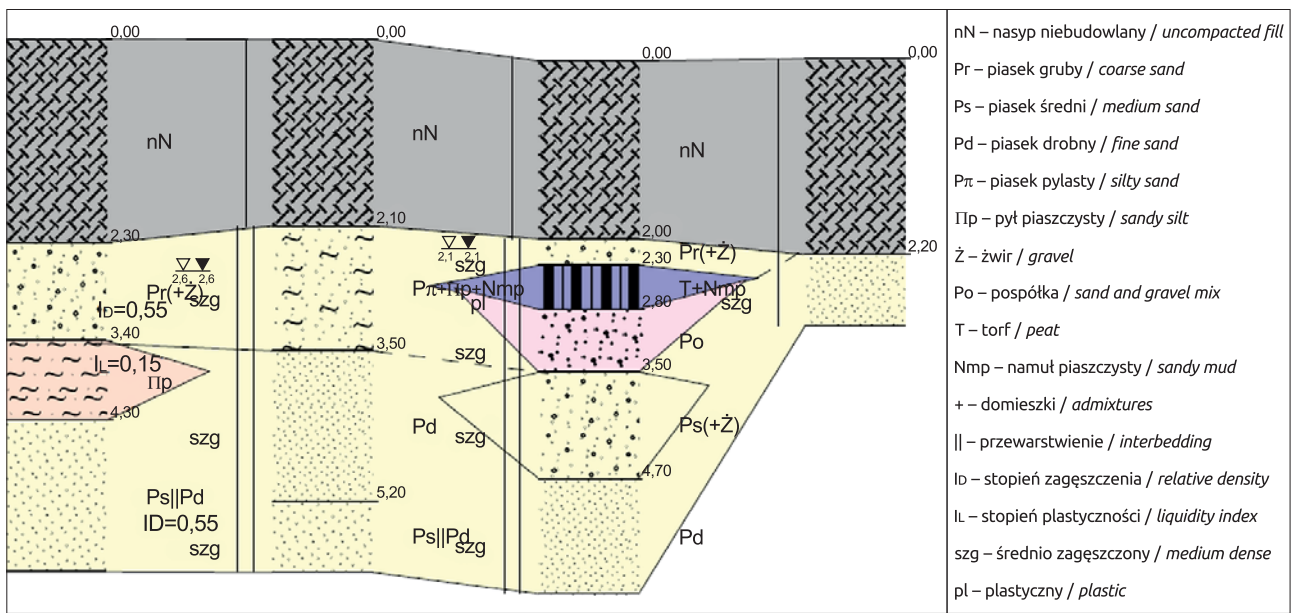
Symbole oznaczają rodzaj gruntu: GE – żwir drobny, SE – piasek drobny, SW – piasek gruby (za wytycznymi ZTVE oraz przywołaną normą DIN).
The symbols indicate the type of soil: GE – fine gravel, SE – fine sand, SW – coarse sand (acc. to the ZTVE and DIN standard).

kazały zaniżone zagęszczenie warstwy ulepszonego podłoża (stanowiska nr 16 i 19, tab. 2) oraz zaniżoną nośność (stanowisko nr 14).

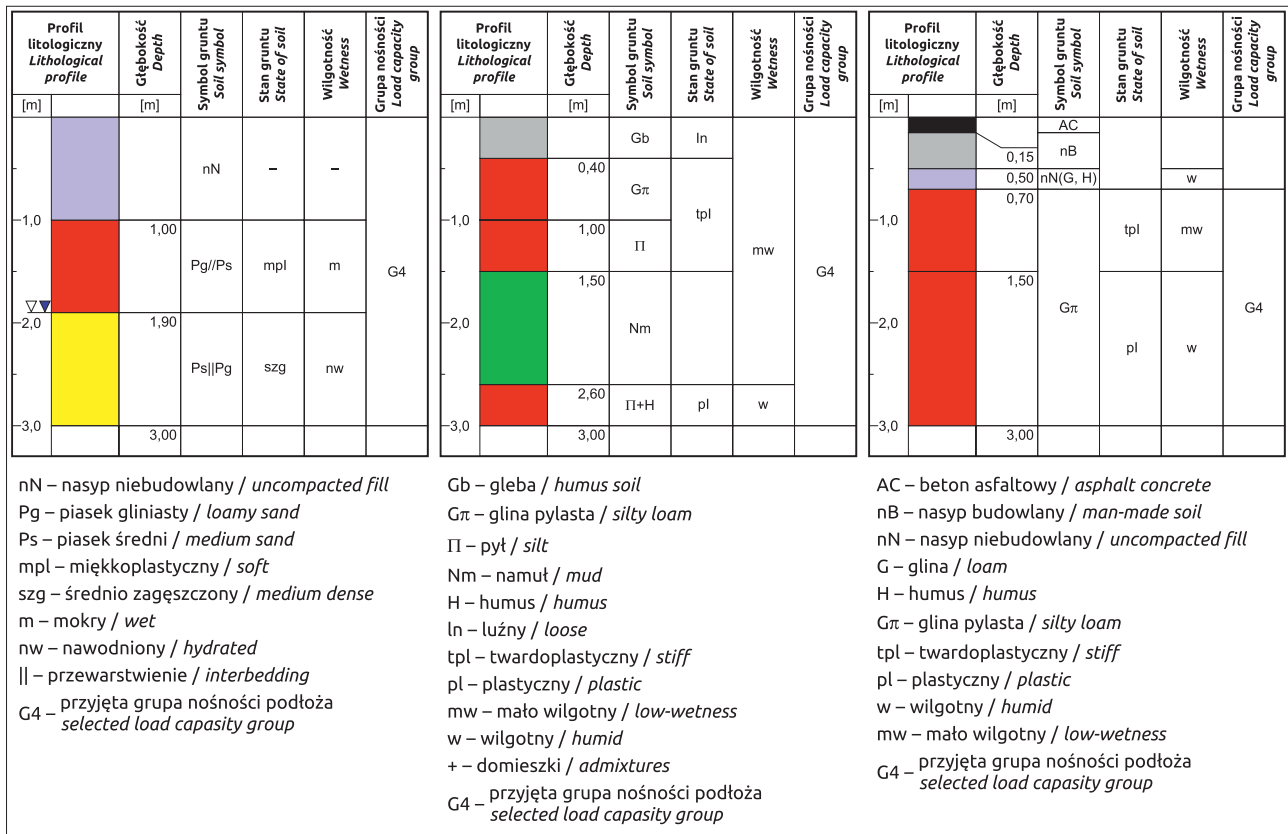
Należy zauważyć, iż podawany przez przepisy niemieckie (ZTV E-StB 09, 2009), wskaźnik zagęszczenia I_s przyjmowany jest progowo, co oznacza, że przy uzyskaniu modułu dynamicznego E_{vd} przeliczonego na wtórny moduł odkształcenia E_2 , odpowiadający określonym wymaganiom, zakłada się jednoczesne uzyskanie deklarowanego wskaźnika zagęszczenia I_s . W rzeczywistości spełnienie warunku nośności nie jest równoznaczne z osiągnięciem wymaganego zagęszczenia. W przypadku badań statycznych wykonuje się dwa cykle naprężenie-odkształcenie i stosunek obu modułów odkształcenia odpowiada zagęszczeniu określonymu wskaźnikiem odkształcenia I_0 , przeliczanym za normą PN-S-02205:1998 na wskaźnik zagęszczenia I_s . W badaniu dynamicznym – w przeciwieństwie do deklaracji producentów urządzeń – w żaden sposób nie można określić zagęszczenia.

W przykładzie nr 3 analizowano przypadek rozbudowy hali magazynowej, zlokalizowanej na przedmieściach miasta wojewódzkiego, w strefie przemysłowej. Sąsiadujące obiekty zostały zrealizowane w latach 90. ub.w., na terenach po rozbiórce wcześniejszych zakładów przemysłowych, wybudowanych w latach 60. XX w. Geolog stwierdził obecność nasypów niebudowlanych, o miąższości od 2,1 do 2,7 m, nie podając ich składu! Poniżej występowały rodzime grunty niespoiste, wykształcone jako piaski: od pylastych do grubych, w stanie od średnio zagęszczonego do zagęszczonego. Zlokalizowano również soczewkę gruntów organicznych. Przykładowy przekrój przedstawiono na rycinie 2.

Projektant otrzymując opinię geotechniczną, nie był w stanie przeanalizować warunków gruntowo-wodnych, gdyż nie posiadał pełnej informacji o nasypach. Otrzymał słowne zapewnienia, że nasypy niebudowlane formują grunty próchniczne oraz warstwy przekruszonego gruzu budowlanego. Podjęto decyzję, aby nie zapłacić wynagrodzenia geotechnikowi, dopóki nie zostaną uszczegółowio-



Ryc. 2. Warunki gruntowo-wodne podłoża projektowanej hali z przykładu 3
 Fig. 2. The ground-water conditions of the substrate of the designed hall of example No. 3



Ryc. 3. Przykłady niewłaściwego określenia grup nośności podłoża w przykładzie 4
 Fig. 3. The examples of incorrect definition of the substrate load capacity groups of example No. 4

ne parametry geotechniczne i skład nasypów niebudowlanych. Po wykonaniu badań uzupełniających potwierdzono występowanie piasków próchnicznych, piasków drobnych i średnich, z domieszkami odpadów oraz humusu, a także przekruszonego gruzu – wyłącznie betonowego. Ostatecznie, nasypy częściowo usunięto (szczególnie w rejonie występowania gruntów organicznych, gdzie dokonano ich wymiany), dogęszczono dno powstałego wykopu, a następnie formowano nasypy budowlane z materiałów

pozyskanych z nasypów niebudowlanych, z warstwowym zagęszczaniem, wykorzystując również gruz betonowy po dodatkowym przekruszeniu. Uszczegóławiając informacje o rodzaju i stanie podłoża, zaoszczędzono czas oraz środki pieniężne, gdyż alternatywnie rozważano wykonanie wzmocnienia poprzez zastosowanie kolumn żwirowych w rejonie fundamentów i stabilizację gruntu spoiwami hydraulicznymi pod posadzką obiektu.

Przykład nr 4 dotyczy oceny warunków gruntowo-wodnych podłoża dla planowanej rozbudowy drogi wojewódzkiej. W toku badań oceniono rodzaj i stan gruntów, głębokość zalegania wody gruntowej, wysadzinowość oraz rodzaj pobocza. Geotechnik określając grupy nośności, przyjął zawyżoną kategorię G4, traktując w sposób typowy grunty miękkoplastyczne, plastyczne i organiczne, które wymagają indywidualnego sposobu wzmocnienia (poza kategorią G1, G2, G3, G4; ryc. 3).

Projektant analizując uzyskane wyniki, poprawił błędne grupy i w przypadku gruntów słabonośnych zastosował indywidualny sposób wzmocnienia, stosując m.in. pogrubienie katalogowych warstw związanych spoiwem, dokonując wymiany gruntów miękkoplastycznych i częściowej wymiany gruntu z wykonaniem nasypu przeciążeniowego oraz zastosowaniem drenów pionowych.

WNIOSKI

Przygotowanie podłoża gruntowego jest jednym z najważniejszych etapów realizacji obiektów budowlanych. Pierwszym krokiem jest właściwe rozpoznanie warunków gruntowo-wodnych podłoża. Wyeliminowanie zaniedbań oraz wad z okresu wykonawstwa zapewni bezawaryjną eksploatację obiektu, ograniczając długoterminowe koszty, związane z utrzymaniem i naprawami, których wartość (wynikająca z prac budowlanych, jak również przestoju produkcji, kar umownych itp.) może przekroczyć nakłady na roboty ziemne. Aby przeciwdziałać możliwości powstania strat materialnych, wysokich odszkodowań, a nawet zagrożenia bezpieczeństwa konstrukcji należy dołożyć wszelkich starań, by prace ziemne zostały wykonane zgodnie z przyjętymi wymaganiami (projektowymi lub normowymi), pod stałym nadzorem geotechnicznym, stosując m.in. przykładowe zasady wskazane w niniejszym tekście.

Autor pragnie złożyć serdeczne podziękowanie Recenzentowi oraz Redaktorowi Naczelnemu za cenne i konstruktywne sugestie pomocne w poprawie jakości artykułu.

LITERATURA

ASTM D-2487-06 2006 – Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System).
BN-70/8931-06. Drogi samochodowe. Pomiar ugięć sprężystych nawierzchni podatnych ugięciomierzem belkowym.
BRANDL H. 2004 – The civil and geotechnical engineer in Society: Ethical and philosophical thoughts. Challenges and Recommendations. The Deep Foundations Institute. Hawthorne.
DIN 18196:2011-05 Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.
DRAĞOWSKI A. 1979 – Wybrane problemy badawcze zwietrzelin i gruntów antropogenicznych dla posadawiania budowli. Mat. Konf. „Budownictwo na gruntach słabych, nasypowych i antropogenicznych rejonu Warszawy”, Warszawa.

GRELA M., TRACZYŃSKI K. 2014 – Problemy projektowania i wykonywania badań geologiczno-inżynierskich w Polsce. *Prz. Geol.*, 62: 579–583.
JEŽ J. 1989 – Ocena właściwości geotechnicznych podłoża gruntowego na podstawie szaty roślinnej. WPP, Poznań.
JUDYCKI J. (red.) 2014 – Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDKiA, Warszawa.
MAJER E. (red.) 2018 – Wytyczne wykonywania badań podłoża gruntowego na potrzeby budownictwa drogowego. Część 1: Wytyczne badań podłoża budowlanego w drogownictwie. Państw. Inst. Geol., Warszawa.
MAJER E., SOKOŁOWSKA M., FRANKOWSKI Z. (red.) 2018 – Zasady dokumentowania geologiczno-inżynierskiego (w świetle wymagań Eurokodu 7). Państw. Inst. Geol., Warszawa.
MŁYNAREK Z., TSCHUSCHKE W. 2005 – Parametry geotechniczne z badań in-situ dla potrzeb projektowania posadowień. XX WPPK, Wiśła: 111–136.
PAWŁOWSKI M., WĘGLIŃSKI S. 2020 – Płyty sztywne do oceny nośności podłoża i warstw konstrukcji nawierzchni. [W:] Duda A., Flieger-Szymańska M. (red.), *Przyrodnicze i geotechniczne aspekty budownictwa*. WPP, Poznań: 183–200.
PKN Wiedza 2021 – Projektowanie konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem Eurokodów. PKN, Warszawa <https://wiedza.pkn.pl/web/wiedza-normalizacyjna/projektowanie-konstrukcji-budowlanych-z-wykorzystaniem-eurokodow> (dostęp: 5.03.2021 r.).
PN-B-02479:1998 Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
PN-B-02480:1986 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
PN-B-03020:1981 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
PN-EN ISO 14688-2:2018-05 Rozpoznanie i badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
PN-S-02205:1998 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
ROZPORZĄDZENIE Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 27 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. *Dz.U.* z 2012 r. poz. 463.
SZAJNA W. 2016 – Jaką klasyfikację gruntów powinniśmy stosować w Polsce po przyjęciu normy Eurokod 7? *Prz. Geol.*, 64: 113–121.
SZYDŁO A. (red.) 2014 – Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych. GDDKiA, Warszawa.
TP BF-StB 2012 – Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau. Teil B 8.3 Dynamischer Plattendruckversuch mit Leichtem Fallgewichtsgerät, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.
USTAWA z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. *Dz.U.* z 1994 r. Nr 89 poz. 414.
WĘGLIŃSKI S. 2018 – Determination of load action ranges in static and dynamic tests of subgrades by applying rigid plates. *Roads and Bridges – Drogi i Mosty*, 17 (1): 73–88.
WĘGLIŃSKI S. 2021 – Koszty występujące w cyklu funkcjonowania obiektu budowlanego wynikające z niewłaściwego rozpoznania podłoża gruntowego. *Prz. Geol.*, 69: 964–971.
WIERZBICKI J. 2020 – Sondowania statyczne CPT/CPTU. [W:] Tarnawski M. (red.), *Badanie podłoża budowli. Metody polowe*. PWN, Warszawa: 228–302.
ZTV E-StB 09 2009 – Additional technical conditions of contract and directives for earthworks in road construction. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V., Köln.

Praca wpłynęła do redakcji 7.06.2021 r.
Akceptowano do druku 27.09.2021 r.